

Estudo Comparativo de Sistemas de Medições de Temperatura Superficial de Pavimentos Urbanos

*Comparative Study of Measurements Systems of Surface Temperature of Urban
Pavements*

Estudio comparativo de mediciones de temperatura superficial de pavimentos urbanos

Luiz Fernando Kowalski

Doutorando Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos
fernando.kowalski@ucb.org.br

Érico Masiero

Professor Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos
erico@ufscar.br

RESUMO

O processo de urbanização altera o microclima o que pode provocar diferentes condições de conforto térmico nas cidades. No mesmo contexto, a pavimentação viária pode favorecer o surgimento de situações de desconforto humano, devido ao considerável ganho térmico dos materiais mais utilizados. Assim, a medição das propriedades térmicas dos pavimentos se faz importante na avaliação do microclima local e das condições de conforto em estudos urbanos. Portanto, este artigo tem como objetivo analisar a temperatura da superfície coletada por um sistema de termopares e correlacionar os resultados com os dados termográficos, identificando possíveis erros, imprecisões ou limitações dos diferentes métodos. Para isso, foram monitoradas as condições climáticas locais e os dados de variação de temperatura superficial de um pavimento de concreto com os dois métodos. Os resultados demonstram que existe uma correlação entre as duas formas de aquisição de dados e a variação entre os dois métodos de medição pode chegar à 5°C, dependendo do instrumento usado. Finalmente, ambos os métodos possuem vantagens e desvantagens em estudos urbanos. Enquanto o sistema de termopares se mostra mais eficaz e preciso na medição de pontos específicos, a termografia é ótima alternativa para avaliar áreas mais amplas, embora tenha apresentado menor precisão.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura superficial de pavimentos, termografia, pavimentação urbana.

ABSTRACT

The urbanization process changes the microclimate, which can cause different thermal comfort conditions in cities. In the same context, road paving can influence the emergence of situations of human discomfort, due to the considerable thermal gain of the most used materials. Thus, the thermal properties' measurement of pavements is important in the evaluation of the local microclimate and the comfort conditions in urban studies. Therefore, this paper aims to analyze the surface temperature collected by a thermocouple system and correlate the results with the thermographic data, identifying possible errors, inaccuracies or limitations of both methods. For that, the local climatic conditions and the variation's data of surface temperature of a concrete pavement were monitored with both methods. The results demonstrate that there is a correlation between the two forms of data acquisition and the variation between the two measurement methods can reach 5 ° C, depending on the instrument used. Finally, both methods have advantages and disadvantages in urban studies. While the thermocouple system is more effective and accurate in measuring specific points, thermography is a great alternative for evaluating wider areas, although it has shown less accuracy.

KEYWORDS: Surface temperature of pavements, thermography, urban paving.

RESUMEN

El proceso de urbanización cambia el microclima, lo que puede causar diferentes condiciones de confort térmico en las ciudades. En el mismo contexto, la pavimentación de carreteras puede favorecer la aparición de situaciones de incomodidad humana, debido a la considerable ganancia térmica de los materiales más utilizados. Por lo tanto, la medición de las propiedades térmicas de los pavimentos es importante en la evaluación del microclima local y las condiciones de confort en los estudios urbanos. Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo analizar la temperatura de la superficie recolectada por un sistema de termopar y correlacionar los resultados con los datos termográficos, identificando posibles errores, imprecisiones o limitaciones de los diferentes métodos. Para esto, se monitorearon las condiciones climáticas locales y los datos de variación de la temperatura de la superficie de un pavimento de concreto con ambos métodos. Los resultados muestran que existe una correlación entre las dos formas de adquisición de datos y la variación entre los dos métodos de medición puede alcanzar los 5 ° C, dependiendo del instrumento utilizado. Finalmente, ambos métodos tienen ventajas y desventajas en los estudios urbanos. Si bien el sistema de termopar es más efectivo y preciso para medir puntos específicos, la termografía es una excelente alternativa para evaluar áreas más amplias, aunque ha mostrado menos precisión.

PALABRAS CLAVE: Temperatura de la superficie, termografía, pavimentación urbana.

1. INTRODUÇÃO

A detecção de fenômenos microclimáticos decorrentes da construção das cidades é um desafio da ciência atual, devido à diversidade de situações espaciais e a complexidade de comportamento físico dos materiais aplicados em sua concepção, sobretudo, em pavimentos urbanos.

A partir da morfologia urbana, do adensamento construtivo, das condicionantes naturais e das características das ações antropogênicas é possível perceber alterações no microclima, as quais podem impactar nas condições de conforto ambiental humano (MASIERO & SOUZA, 2018). Ou seja, as decisões decorrentes do processo de planejamento urbano são decisivas para a obtenção de ambientes urbanos mais adequados ao ser humano.

Neste contexto, Cox (2008) afirma que as alterações no ambiente natural associadas à urbanização contribuem para a alteração das propriedades térmicas que promovem a absorção de energia nas superfícies. Em geral, a pavimentação para adequar o sistema de transporte e mobilidade proporcionam ganhos excessivos de calor no ambiente devido à exposição à radiação solar, normalmente excessiva em cidades situadas em países tropicais. Segundo Gartland (2008), os pavimentos urbanos cobrem entre 25% a 50% do território das cidades, fato que o torna protagonista na formação de ilhas de calor urbanas, por exemplo.

A alteração na atmosfera urbana resulta do acelerado crescimento populacional juntamente com o processo de urbanização e construção das cidades, conforme menciona Rossi e Krüger (2015) e Fernandes e Masiero (2020), os quais podem provocar prejuízos para a qualidade térmica dos espaços urbanos. Além disso, as excessivas áreas de pavimentação, a canalização dos corpos d'água e a supressão da vegetação e o aumento da concentração de construções modificam o balanço termo energético entre a superfície e o meio possibilitando a formação de Ilhas de Calor Urbano – ICU (COX 2008, Amorim, 2009, GARTLAND, 2010).

Barros e Lombardo (2016) estudaram as características das ICU em cidades de médio e grande porte do Brasil, considerando a cobertura vegetal, o uso e a ocupação do solo. As autoras relatam que as maiores magnitudes de ICU foram observadas principalmente entre 10 h e 16 h, coincidindo com os horários de maior insolação e maior aquecimento diurno. Nos demais horários do dia foram registrados ICU de média intensidade. As autoras acrescentam ainda que a escassez de vegetação e o excesso de áreas impermeáveis se apresentam como as principais causas da distribuição espacial e da intensidade da ilha de calor urbana. Tal estudo corrobora a necessidade de se aprofundar o conhecimento dos fenômenos que ocorrem nas camadas intraurbanas, sobretudo, nos locais de uso mais intenso pelos pedestres, os quais podem estar expostos a condições adversas a sua saúde.

Segundo Gartland, (2010) os impactos causados pelas ICUs incluem o comprometimento da saúde e do conforto térmico humano, o aumento da demanda por energia para climatização das

construções e o prejuízo na qualidade do ar, bem como a deterioração da infraestrutura urbana. Assim, se torna muito importante mensurar os possíveis impactos causados pela pavimentação urbana na formação de ICUs.

Segundo Kowalski (2020), pavimentos com baixo potencial de absorção de calor, chamados de pavimentos frios, podem contribuir na mitigação das ICUs. Tais materiais são desenvolvidos a partir do controle de dosagem das misturas de materiais que possibilitam a obtenção da coloração mais adequada às condições de uso do pavimento.

Os estudos sobre a climatologia urbana e o conforto ambiental humano em espaços abertos dependem, entre outros fatores, dos efeitos das propriedades térmicas dos pavimentos urbanos. Para tanto, é importante recorrer a procedimentos de avaliação e estudos com instrumentação adequada para medições de variação de temperatura do ar e das superfícies verticais e horizontais. Em geral, tais procedimentos são realizados com medições de variação periódica de temperatura superficial através de aplicação de termopares ou de aquisição de imagens termográficas, as quais despertam dúvidas em relação ao sistema mais preciso e adequado para se caracterizar fenômenos em escala microclimática urbana.

1.1. Termopares

Segundo Fernandes (2012) apud Debortolli (2016), Thomas J. Seebeck notou que ao unir dois materiais condutores sujeitos a uma diferença de temperatura e conectados aos terminais de um galvanômetro, poderia se observar o surgimento de uma diferença de potencial elétrico. A esse arranjo de elementos e sujeitos a uma diferença de temperatura foi dado o nome de termopar.

O funcionamento de um termopar se baseia no fenômeno conhecido com Efeito Termoelétrico de acordo com Antunes, (1966) apud Seixas, (2015). Tal efeito ocorre quando dois metais distintos em contato em uma das extremidades, mantida a uma determinada temperatura (T_a), diferente da temperatura da outra extremidade (T_b), registra o potencial elétrico entre os dois metais. Assim, a partir do contato de um conjunto de termopares com uma superfície ou com o ar, pode-se registrar a periodicidade da temperatura.

1.2. Termografia

Segundo Barreira (2007) a termografia infravermelha é um processo de teste não-destrutivo aplicado na medição da temperatura superficial de materiais e componentes. Os sensores ópticos coletam radiação infravermelha e a transformam em imagens com o gradiente superficial da temperatura.

Segundo Monteiro e Leder (2011), todos os materiais acima do zero absoluto emitem radiação. Esta radiação é denominada infravermelha e está compreendida entre a região visível e as micro-ondas do espectro magnético, com comprimento de onda de $0,75 \mu\text{m}$ a $10 \mu\text{m}$. Os autores

acrescentam que a termografia infravermelha transforma a emissão padrão do objeto em imagem visível, aferindo a radiação infravermelha emitida pelos objetos.

Uma câmera termográfica detecta três componentes de radiação nos objetos, a emissão, a transmissão e a reflexão (OCAÑA, 2004, apud MONTEIRO, LEDER, 2011, p.02). Os autores mencionam que todos os materiais apresentam capacidade de absorver a radiação infravermelha, o que por consequência provocam um aumento na temperatura superficial.

Os fatores que intervêm preponderantemente nas medições em infravermelho são: o valor de emissividade do material, a condição ambiental, a cor da superfície e a refletividade da superfície (MONTEIRO; LEDER, 2011). Portanto, tais características devem ser consideradas para assegurar a confiabilidade dos procedimentos de aquisição de informações.

Segundo Marinowski, et. al (2010), nos últimos anos há várias pesquisas na área de construção civil, as quais vêm aplicando a técnica de termografia para estudos de temperatura no ambiente construído. (BALARAS et al., 2002; OCAÑA et al., 2004).

Segundo Barreira et al. (2007), a termografia infravermelha tem sido aplicada no diagnóstico de ganhos e perdas de calor nas edificações e no meio urbano. O autor relata que, apesar de sua potencialidade, a aplicação da termografia no estudo de materiais de construção, de microclima urbano e de condições de conforto térmico humano ainda é pouco explorada. Além disso, fatores como a baixa precisão dos equipamentos e a interferência da radiação solar, quando incidem sobre os sensores, podem comprometer os resultados de uma pesquisa.

Sendo assim, este trabalho objetiva registrar a precisão e a correlação entre dois procedimentos de medição da variação de temperatura de uma superfície pavimentada de concreto, ou seja, por termopares e por imagens termográficas. Assim, procura-se identificar as possíveis vantagens e limitações do uso dos equipamentos e recomendar procedimentos que confirmam maior confiabilidade no processo de aquisição de dados para estudos de clima urbano.

2. MÉTODO

A pesquisa recorre à um método experimental segmentado em três etapas, sendo a primeira, a caracterização do local de estudo, em seguida, o levantamento de temperatura superficial em uma amostra de pavimento de concreto com uma câmera térmica e com termopares e, por fim, a aquisição e o desenvolvimento de uma análise de resultados estabelecendo uma correlação através de regressão linear.

2.1. Equipamentos de medição

Os equipamentos para a coleta de dados e a realização desta pesquisa foram: uma câmera termográfica Fluke TI 400/9Hz, sensor e temperatura DS18B20 do tipo sonda e um datalogger com microcontrolador Esp32 (WROOM). As especificações técnicas da câmera termográfica são apresentadas na Figura 1.



Figura 1. Especificações técnicas - Câmera Termográfica

	<i>Marca / Modelo</i>	Fluke / Thermal Imagers Ti400
	<i>Resolução da imagem</i>	5.0 megapixels
	<i>Amplitude espectral</i>	7,5µm - 14µm (onda longa)
	<i>Amplitude de temperaturas</i>	-20°C à +1200°C
	<i>Precisão</i>	±2°C (à 25°C) ou 2% da leitura (Demais T ^a ambiente)
	<i>Sensibilidade térmica</i>	≤0,05°C à 30°C

Fonte: Fluke, (2013).

O equipamento composto por termopares utilizado para a aquisição de dados foi desenvolvido pelo grupo de iniciação científica do curso de Engenharia Elétrica, da Universidade Salesiana de Americana. As especificações técnicas dos componentes estão descritas na Figura 2.

Figura 2. Especificações técnicas – Sensores de temperatura

	<i>Marca / Modelo</i>	Dallas / DS18B20
	<i>Descrição</i>	1-Wire® Digital Thermometer
	<i>Tipo</i>	Sonda
	<i>Amplitude de temperaturas</i>	-55°C à +125°C.
	<i>Precisão</i>	±± 0,5°C (à 25°C)
	<i>Microcontrolador</i>	Esp32 (WROOM)

Fonte: Dallas, 2001.

A câmera termográfica foi calibrada pelo próprio fabricante (Fluke, 2013), o qual forneceu o certificado de garantia, e os termopares foram calibrados e testados a partir da comparação e a correlação de resultados com equipamentos da marca HOBO tipo U23 no Núcleo de Pesquisas Acústicas e Térmicas nas Edificações e Redes Viárias da Universidade Federal de São Carlos. Os resultados dos procedimentos de calibragem demonstraram que os sensores termopares apresentaram discrepância máxima de registros de temperatura da ordem de ±0,6°C.

3.2. Caracterização do Local

O trabalho foi realizado na região de um campus universitário na cidade de Engenheiro Coelho, a qual está situada na região metropolitana de Campinas, SP. Na Tabela 1 são apresentadas algumas informações geográficas do local.

Tabela 1. Condicionantes naturais.

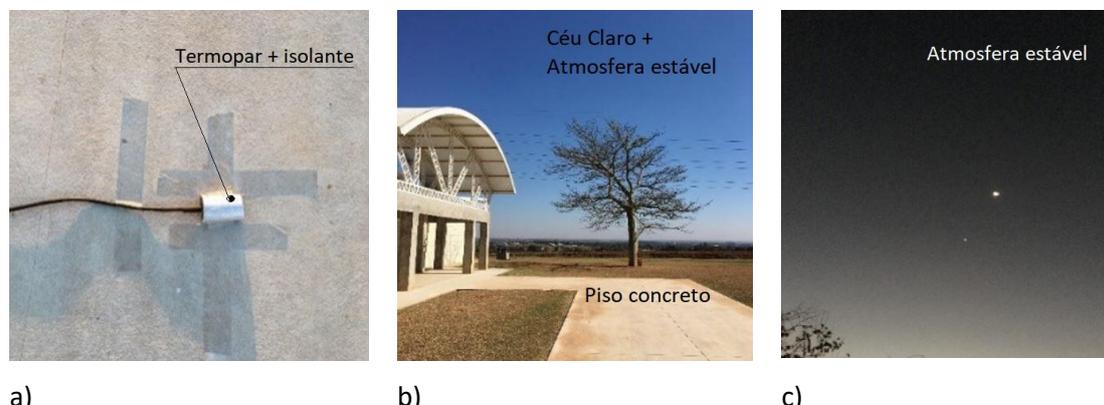
<i>Altitude</i>	550 m
<i>Coordenadas geográficas</i>	22°17'00"; 47°07'00"
<i>Clima</i>	Aw - Tropical com estação seca de inverno
<i>Temperatura média anual</i>	22 °C
<i>Precipitação pluviométrica</i>	1448 mm/ano
<i>Ventos predominantes</i>	Nordeste

Fonte: Cepagri, (2018).

3.3. Procedimento Experimental

O procedimento experimental seguiu inicialmente com a instalação de um sensor de temperatura tipo sonda termopar no pavimento de concreto, protegido da irradiação solar com material isolante e pasta térmica. A aquisição de dados ocorreram a cada 1 minuto em um período de 24 horas por dia em três dias consecutivos durante o inverno em Julho de 2018. As condições atmosféricas nos dias da coleta de dados apresentavam ventos fracos, céu aberto e baixa umidade, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3. Instalação dos termopares (a), Céu durante o dia (b), Céu durante a noite (c)



Fonte: os Autores, 2020.

A aquisição de imagens infravermelha com a câmera Fluke Ti400 foi realizada simultaneamente à coleta com termopares considerando intervalos de 1 hora em um período de 12 horas durante o dia a uma distância de 1,40m perpendicularmente à superfície. A emissividade do pavimento foi ajustada na câmera para ($\epsilon = 0,92$) conforme o *default* do equipamento para superfície de concreto. Sendo assim, a fim de avaliar a qualidade numérica dos resultados foram calculados os valores médios de temperatura para cada horário.

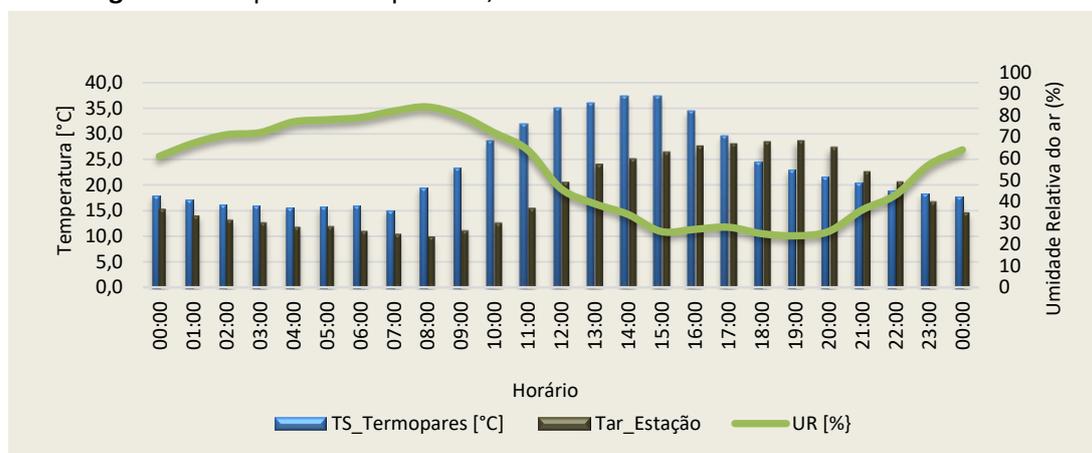
Os dados meteorológicos de referência para o período do experimento, como umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T_{ar}) foram coletados de hora em hora por uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na cidade de Itapira, SP. A escolha dessa

estação se justifica por estar em uma região com a mesma classificação climatológica e por ser a mais próxima ao local da pesquisa, a 47 km de distância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de temperatura de superfície no pavimento de concreto coletados por termopares durante o período de análise, bem como a variação de umidade relativa do ar coletada pela Estação Meteorológica do INMET (2018) estão apresentados na Figura 4.

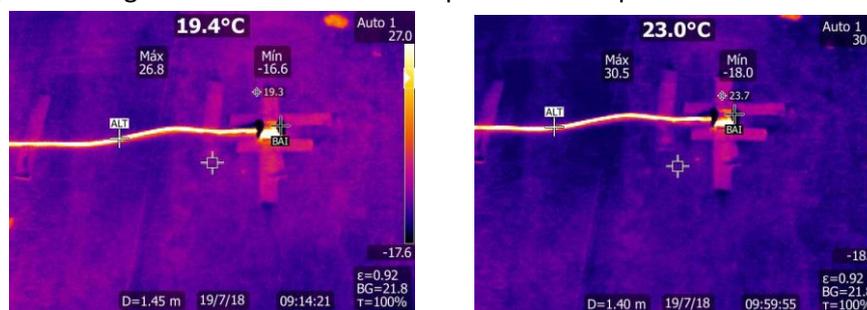
Figura 4. Temperatura superficial, do ar e umidade relativa do local de estudo.



Fonte: INMET, adaptado pelos Autores, (2018).

As imagens termográficas coletadas pelo sensor infravermelho da câmera térmica em um intervalo de 1 hora no período da manhã estão apresentadas na Figura 5 e demonstram que há um aumento na temperatura do pavimento de aproximadamente 3,5 °C nas primeiras horas do dia, durante um período estimado em 45 minutos.

Figura 5. Imagens em infravermelho do pavimento no período da manhã.

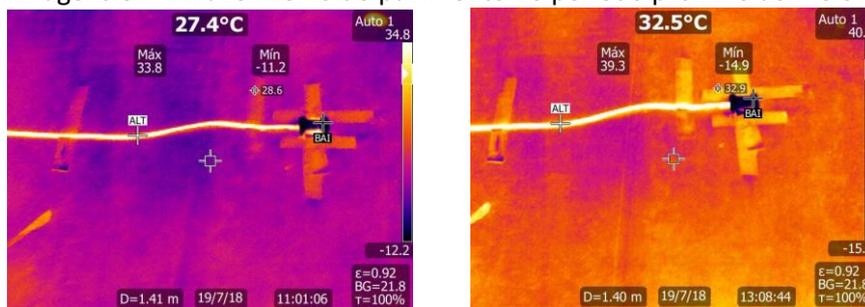


Fonte: os Autores, 2018.

Além disso, percebe-se um ganho térmico no pavimento, bem como o aumento na ordem de 5°C da temperatura superficial num intervalo de aproximadamente 2 horas, nos horários

próximos ao meio-dia, conforme registrados pela câmera termográfica e apresentados na Figura 6.

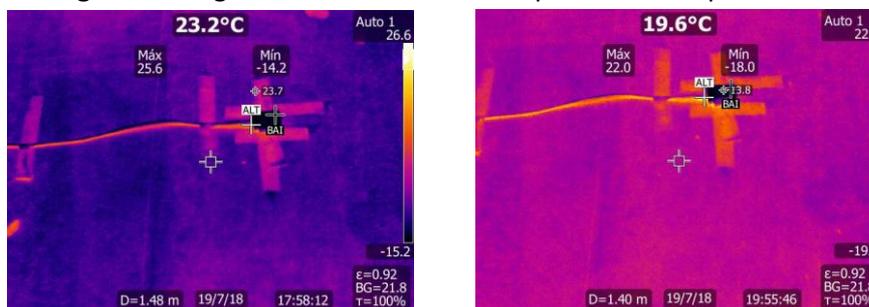
Figura 6. Imagens em infravermelho do pavimento no período próximo ao meio dia.



Fonte: os Autores, 2018.

Ao final do dia e no início do período noturno, percebe-se que há um desprendimento do calor no pavimento de concreto e uma queda na temperatura superficial de aproximadamente 3,6 °C em um período inferior a 2 horas, conforme demonstrados pela Figura 7.

Figura 7. Imagens em infravermelho do pavimento no período da noite



Fonte: os Autores, 2018.

O gráfico da Figura 8 relaciona a variação de temperatura e umidade do ar da Estação do INMET(2018) no dia das medições e a temperatura de superfície (TS) coletada por termografia infravermelho e termopares. Percebe-se que durante o dia, a temperatura da superfície supera numericamente a temperatura do ar. Entretanto, neste recorte, no período noturno houve uma inversão dessa lógica. A partir das 18:00 h a temperatura do ar, coletada pela estação meteorológica INMET(2018) demonstra ser superior aos valores registrados pelos sensores. Este comportamento demonstra a capacidade de perda de calor do pavimento a medida que a incidência da radiação solar diminui.

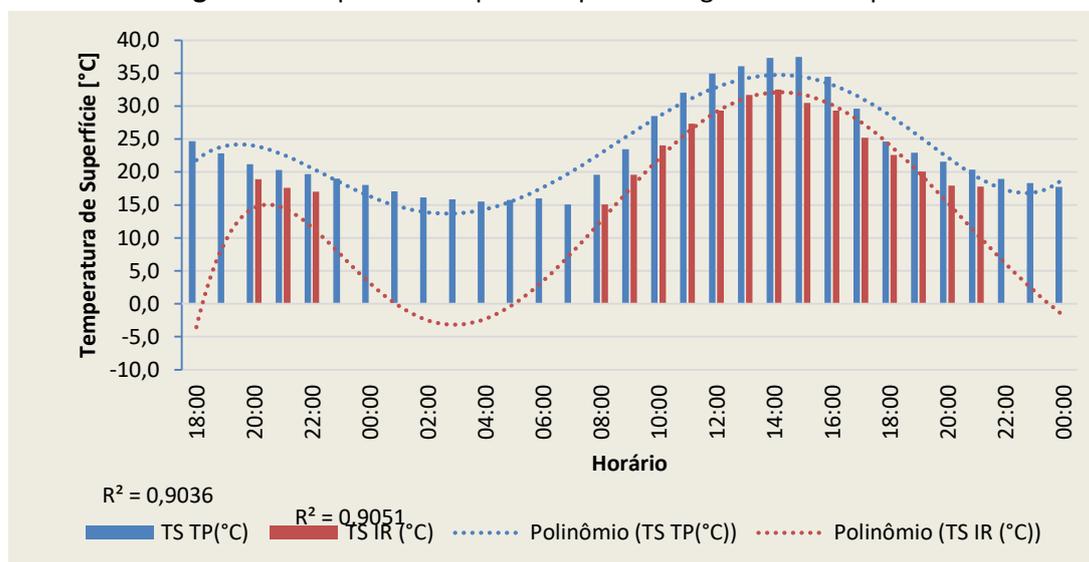
Figura 8. Relação entre dados temperatura e umidade do ar e a temperatura superficial por termografia infravermelho e termopares.



Fonte: os Autores, 2018.

Segundo Fluke (2013), a variação dos dados de temperatura da câmera termográfica pode ser de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ à temperatura ambiente (25°C), ou um erro de 2% em relação leitura quando exposta a temperaturas mais elevadas. Além disso, a precisão dos sensores de temperatura devem ser considerada nessa oscilação, pois representam um erro de aproximadamente $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Assim, ao considerar apenas os dados de temperatura superficial discretizadas no tempo, percebe-se que os valores registrados pela câmera termográfica (TS_{IR}) são proporcionalmente inferiores aos coletados pelo termopar (TS_{TP}), conforme apresentado na Figura 9, o que é justificada pela precisão de cada equipamento. Entretanto, percebe-se que após o meio dia, no momento em que a superfície começa a desprender calor, as diferenças de leitura são inferiores em relação ao período da manhã.

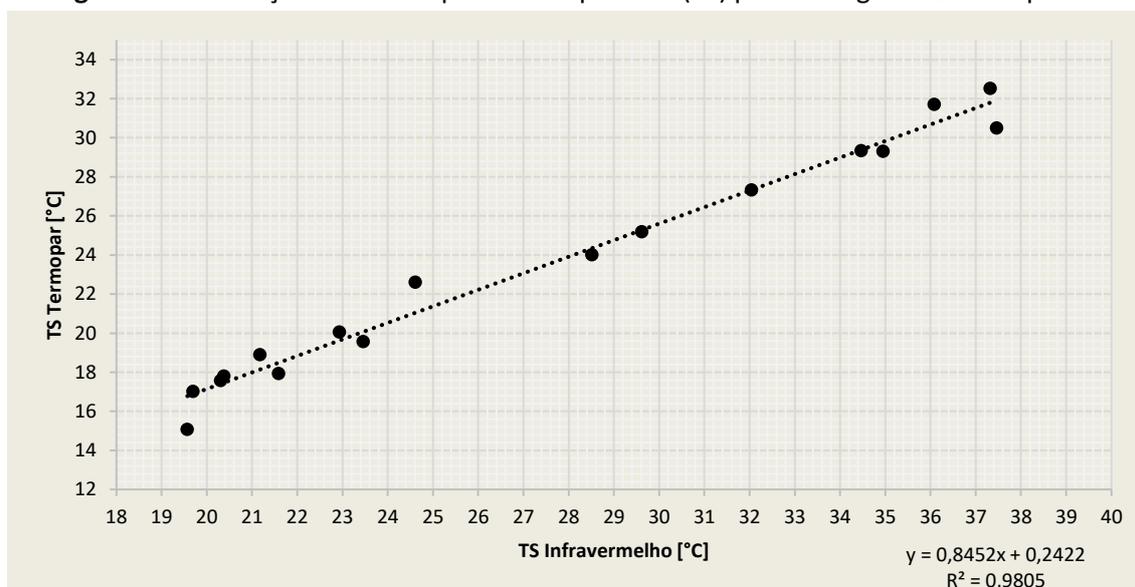
Figura 9. Temperatura superficial por termografia e termopares.



Fonte: os Autores, 2018.

Por fim, a aquisição de dados de temperatura superficial por termopares e por imagens em infravermelho permitiu estabelecer uma correlação através de regressão linear, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10. Correlação entre Temperatura superficial (TS) por termografia e termopares.



Fonte: os Autores, 2018.

Como parâmetro para avaliação dos dados, foi empregado o coeficiente de determinação (R^2), o qual é utilizado apenas como uma medida descritiva da variabilidade dos dados em relação à

um modelo de regressão linear. Segundo Martins (2018) um valor de $r^2 \approx 1$ significa que, em princípio, a nuvem de pontos apresentada no diagrama de dispersão está próxima da reta de regressão, considerada para o modelo. Por outro lado, quando $r^2 \approx 0$ já não se vislumbra uma estrutura linear.

Neste trabalho, percebe-se que o coeficiente de determinação (R^2) é de 0,9805, o que vislumbra uma relação de linearidade entre as variáveis aferidas pelos equipamentos em um campo experimental. A equação (1) é produto da regressão linear entre os dados de temperatura de superfície (TS) coletados por termopares (TS_{TP}) e por infravermelho (TS_{IR}).

$$TS_{TP} = 0,8452 \cdot TS_{IR} + 0,2422 \quad (1)$$

Ou seja, esta equação pode ser útil para ajustar os valores de temperatura superficial adquirida por um dos dois métodos, termopares ou imagens em infravermelho. Neste caso, os coeficientes de determinação podem contribuir para aumentar a precisão de uma campanha de levantamento de dados aplicada ao estudo de ilhas de calor urbana ou ao estudo dos efeitos no ambiente decorrentes da aplicação de materiais de superfícies, para calçadas, fachadas ou coberturas de edifícios.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Ao avaliar os resultados, considerando as especificações e limitações de cada método para aquisição de dados, notou-se que os resultados da câmera térmica proporcionalmente inferiores aos coletados pelo termopar. Sabe-se também que a temperatura de superfície apresentou discrepâncias de 3°C a 5°C. Mesmo a câmera termográfica apresentando um erro de aproximadamente 2% em relação ao valor registrado, tais discrepâncias são excessivas e estão fora da margem aceitável, o que indica a necessidade de um ajuste numérico para que haja uma melhor representatividade dos dados coletados em experimentos de campo.

Considerando a viabilidade na aquisição de dados referentes aos impactos na temperatura de superfícies de pavimentos urbanos, a tecnologia de registro pelo espectro infravermelho apresenta maior facilidade de manuseio, embora o operador deva se atentar para a precisão e para as configurações do equipamento a ser utilizado em determinados experimentos, além do posicionamento do foco sobre a superfície a ser avaliada. Os termopares, por sua vez, apresentam a vantagem de possibilitar leituras e registros automáticos e com frequência controlada em pontos específicos. Entretanto, uma das necessidades que se tem ainda, está em uniformizar os procedimentos de coleta de dados, bem como averiguar a eficiência de cada processo para estudos em clima urbano, já que a diferença de temperatura registrada e aferida entre os dois equipamentos podem comprometer a representatividade de um estudo.

Em geral, há uma aplicabilidade eminente dos termopares no planejamento de vias, especialmente nas etapas de dosagem das misturas para pavimentação. Ao considerar o

desempenho térmico dos materiais nas etapas de dimensionamento, haveria uma contribuição ao adotar novas tecnologias de pavimentos frios como uma estratégia de mitigação de ICU. A tecnologia de investigação da temperatura pelo espectro infravermelho, seria empregada como ferramenta de controle da eficiência da adoção dessas estratégias. Por fim, sugere-se para trabalhos futuros, que essa correlação seja adaptada a outros materiais, em diferentes climas e estações do ano, que considerem as especificidades de cada local de estudo.

AGRADECIMENTOS

Agredecemos à CAPES, ao CNPQ e ao UNASP (Centro Universitário Adventista de São Paulo) que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; *et. al.* Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins** (online) 7. 2009.

BALARAS, C. A.; ARGIRIOU, A. A. Infrared thermography for building diagnostics. **Energy and Buildings** 34, p.171-183. 2002.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online) 20. p. 160-177. 2016.

BARREIRA, E.; FREITAS, V. P. Evaluation of buildings materials using infrared thermography. **Construction and Building Materials** 21, p.218-224. 2007.

CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <https://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>. Acesso em 15 jul. 2018.

COX, E. P. **Interação entre clima e superfície urbanizada: o caso da cidade de Várzea Grande/MT**. Cuiabá, 2008. 141p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso.

DALLAS. **Datasheet - DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**, 2001. Disponível em: <http://www.dalsemi.com> Acesso em 27 jul. 2018.

DEBORTOLLI, M. A. **Estudo da utilização das células de Peltier com rastreamento de máxima potência para geração de energia elétrica**. 2016. 75p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado). Departamento de Engenharia Elétrica. Centro de Ciências Tecnológicas. Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2016.

FERNANDES, M., E., MASIERO, E. **Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais**. *urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana* [online]. 2020, vol.12, e20190247. Epub May 15, 2020. ISSN 2175-3369. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.012.e20190247>.

FLUKE. **Manual de uso**. Certificado de Garantia. Espanha: Fluke corporation, 2013.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

INMET. **Estação meteorológica de observação de superfície automática**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas> . Acesso em 20 jul. 2018.

KOWALSKI, L. F. **Influência do Albedo de Pavimentos no Campo Térmico de Cânions Urbanos: Estudo de Modelo em Escala Reduzida**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 124p. 2020.

OCAÑA, S. M.; GUERREO, I. C.; REQUENA, I. G. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. **Energy and Buildings** 36, p.515-523. 2004.

OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. **Journal of climatology** 1, p.237-254. 1981.

Masiero, E., Souza, L. C. L. de. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. **Ambiente Construído**. On-line version ISSN 1678-8621. vol.18 no.4 Porto Alegre Oct./Dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400300>

MARINOSKI, D. L.; DE SOUZA, G. T; SANGOI, J. M.; LAMBERTS, R. Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010, Canela. **Anais do XIII ENTAC**. Canela: ANTAC, 2010. p.1-10.

MARTINS, E. G. M. Coeficiente de determinação. **Revista Ciência Elementar** 6, p.24. 2018.

MONTEIRO, J. R. V.; LEDER, S. M. A aplicação da termografia como ferramenta de investigação térmica no espaço urbano. In: VI Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2011, Vitória. **Anais do VI ELECS**. Vitória: ANTAC, 2011. p. 01-10.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **RA'E GA** 10, p.93-105. 2015.

SEIXAS, G. T. C. **Climatologia aplicada à arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste**. 2015. 126p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.